

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
Направление подготовки: Химическая технология
Кафедра технологии органических веществ и полимерных материалов

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проект узла синтеза этилбензола на цеолитных катализаторах
УДК 611.715:547.534.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Ермолаев Ярослав Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сорока Людмила Станиславовна	Кандидат химических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры	Раденков Тимофей Александрович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Юсубов Мехман Су- лейманович	доктор хими- ческих наук, профессор		

Томск – 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Природных ресурсов
Направление Химическая технология
Кафедра Технологии органических веществ и полимерных материалов

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ М.С. Юсубов
« ____ » _____ 2016 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2А	Ермолаеву Ярославу Евгеньевичу

Тема работы:

Проект узла синтеза этилбензола на цеолитных катализаторах	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	2235/с 22.03.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Производительность по этилбензолу – 240000 тонн в год 2. Состав технического бензола: метан – 0,002 % мас. этан – 0,011 % мас. этилен – 0,001 % мас. C3,C4,C5 – 0,11 % мас. неароматики – 0,67 % мас. бензол – 98,66 % мас. толуол – 0,05 % мас. этилбензол – 0,50 % мас. 3. Состав технического этилена: метан – 0,037 % мас. этилен – 99,9 % мас. этан – 0,06 % мас. пропилен – 0,003 % мас. 4. Годовой фонд рабочего времени – 8000 ч 5. Степень конверсии бензола – 0,65
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Литературный обзор. 2. Объекты и методы проектирования. 3. Расчеты. 4. Результаты разработки. 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение. 6. Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1. Схема технологическая. 2. Реактор. Вид общий. 3. Реактор. Сборочный чертеж.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность ресурсосбережение	Рыжакина Т.Г.
Социальная ответственность	Раденков Т.А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	29.09.15

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сорока Л.С	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Ермолаев Ярослав Евгеньевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2А	Ермолаеву Ярославу Евгеньевичу

Институт	Природных ресурсов	Кафедра	Технология органических веществ и полимерных материалов
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	180301 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)	Оборудование расположено на улице. Производство связано с вредными веществами, такими как этилен, бензол, этилбензол, полиалкилбензолы. Наличие источников шума и вибрации. Смешанное освещение. Наличие источников опасности. Высокая температура производства. Электрические провода. Наличие взрывоопасных веществ. Основными путями воздействия производства на окружающую среду – загрязнение атмосферного воздуха, водоемов и почвы в результате утечек, нарушения правил хранения, аварийных ситуациях.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	Часть работ проводится на открытом воздухе при плохих климатических условиях, повышенной и пониженной температурах, что негативно влияет на здоровье работников. Возможны отравления и получение химических ожогов при отсутствии средств индивидуальной защиты. Методы и средства индивидуальной и коллективной защиты от шума и вибрации препятствуют возникновению профессиональных заболеваний.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	Наличие высоких температур, что может привести к получению термических ожогов. Неисправность электрооборудования может повлечь поражение работников электрическим током. Существует опасность взрыва или пожара. Во избежание травм следует строго соблюдать технику безопасности, а также пользоваться индивидуальными средствами защиты.
3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);	Основными путями воздействия производства на окружающую среду – загрязнение атмосферного воздуха, водоемов и почвы в результате утечек, нарушения правил хранения, аварийных ситуациях.

4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	На производстве возможна утечка сырья, продуктов, рассып катализатора, возникновение пожара, взрыв.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	Каждому работнику предоставляются средства коллективной и индивидуальной защиты, обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры, обязательное страхование. Проводится обучение и проверка знаний работников требований безопасности труда.
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры	Раденков Т.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Ермолаев Ярослав Евгеньевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСО-
СБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2А	Ермолаеву Ярославу Евгеньевичу

Институт	Природных ресурсов	Кафедра	Технология органических веществ и полимерных материалов
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	180301 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности синтеза этилбензола на цеолитных катализаторах

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Расчёт денежного потока
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2А	Ермолаев Ярослав Евгеньевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 87 – страниц, 28 – таблиц, 13 – рисунков, 29 – литературных источников.

Ключевые слова: газофазное алкилирование, бензол, этилен, этилбензол, катализаторы.

Объектом исследования проектирование узла синтеза этилбензола на цеолитных катализаторах.

Цель данной работы – изучение физико-химических свойств процесса и их влияния на протекание реакции, а также конструирование основного аппарата – реактора газофазного алкилирования бензола этиленом.

В результате был выполнен расчет материального и теплового балансов, конструктивный и механический расчеты. На основании проведенной работы выполнен чертеж основного аппарата – алкилятора.

Выпускная квалификационная работа набрана в текстовом редакторе Microsoft Word 2010, чертежи сделаны в программе Компас 2014.

Abstract

The final qualification work consist of 87 pages, 13 figures, 28 tables, 29 sources of literature.

Keywords: GAS-PHASE ALKYLATION, BENZENE, ETHYLENE, ETHYLBENZENE, CATALYSTS.

The object of research is design of synthesis unit of ethylbenzene on zeolite catalysts.

The purpose of this work is to study the physico-chemical properties of the process and their influence on the reaction, as well as designing the main unit of the reactor gas-phase alkylation of benzene with ethylene.

The calculation of material and thermal balances, constructive and mechanical calculations was made. Based on the calculations, the drawing of the basic apparatus of alkylator was made.

The qualifying work was performed in Microsoft® Office Word 2010, drawings was made in the program of Compass 2014.

Оглавление

Введение.....	12
1 Области технического применения.....	14
2 Источники сырья для производства этилбензола и требование к нему	15
2.1 Бензол	15
2.2 Этилен.....	16
2.3 Характеристика сырья, материалов и реагентов.	18
3 Механизм основной реакции	19
4 Выбор условий проведения процесса	21
4.1 Влияние времени контакта.....	21
4.2 Влияние температуры реакции на выход и селективность целевого продукта	23
5 Выбор конструкции основного аппарата.....	25
6 Выбор и обоснование технологической схемы процесса	26
6.1 Технология жидкофазного алкилирования с использованием катализатора на основе $AlCl_3$	26
6.2 Жидкофазное алкилирование, по технологии фирмы «Monsanto»	28
6.3 Технология получения этилбензола на цеолитных катализаторах по методу фирмы «Mobil-Badger»	29
7 Материальный расчет	Ошибка! Закладка не определена.
7.1 Расчет стадии алкилирования	Ошибка! Закладка не определена.
7.2 Расчет стадии трансалкилирования.....	Ошибка! Закладка не определена.
8 Тепловой расчет	Ошибка! Закладка не определена.
9 Конструктивный расчет.....	Ошибка! Закладка не определена.
9.1 Расчет основного аппарата.....	Ошибка! Закладка не определена.
9.2 Расчет и подбор штуцеров	Ошибка! Закладка не определена.

9.3 Выбор крышки и днища	Ошибка! Закладка не определена.
9.4 Расчет опоры.....	Ошибка! Закладка не определена.
9.5 Расчет вспомогательного оборудования.....	Ошибка! Закладка не определена.
10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	32
10.1 Предпроектный анализ	32
10.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	33
10.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	34
10.2 SWOT-анализ.....	35
10.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	36
10.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	36
10.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ	37
10.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	45
10.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	45
10.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных исследований	46
10.4.3 Расчет основной заработной платы.....	46
10.4.5 Накладные расходы.....	49
10.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .	50
10.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	51
11 Раздел «Социальная ответственность»	Ошибка! Закладка не определена.
11.1.1 Вредные вещества	Ошибка! Закладка не определена.
11.1.2 Производственное освещение.....	Ошибка! Закладка не определена.
11.1.3 Вибрации и шум	Ошибка! Закладка не определена.

11.2 Анализ опасных факторов производственной среды	Ошибка! Закладка не определена.
11.2.1 Механические опасности	Ошибка! Закладка не определена.
11.2.2 Термические опасности	Ошибка! Закладка не определена.
11.2.3 Электробезопасность	Ошибка! Закладка не определена.
11.2.4 Пожаровзрывобезопасность.....	Ошибка! Закладка не определена.
11.3 Охрана окружающей среды	Ошибка! Закладка не определена.
11.3.1 Воздействие на атмосферу	Ошибка! Закладка не определена.
11.3.2 Воздействие на гидросферу	Ошибка! Закладка не определена.
11.3.3 Воздействие на литосферу	Ошибка! Закладка не определена.
11.4 Защита в чрезвычайных ситуациях ...	Ошибка! Закладка не определена.
11.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Ошибка! Закладка не определена.
Заключение	Ошибка! Закладка не определена.
Список литературы	Ошибка! Закладка не определена.

Введение

Процесс производства этилбензола является важным звеном в современном нефтехимическом синтезе. Он служит сырьем для получения стирола, одного из основных мономеров для производства каучуков и пластиков. Более 90 % всего производимого этилбензола перерабатывается в стирол, современные потребности которого в России составляют около 575 тыс. т/год. В общемировой структуре выработки производных бензола получение этилбензола занимает первое место, его ежегодная мировая выработка составляет около 28,6 млн. т. (2009 г.). Поэтому разработка новых и реконструкция действующих производств является актуальным направлением в совершенствовании промышленных технологий получения этилбензола [1].

Получение этилбензола основывается на алкилировании бензола этиленом. Большинство существующих установок получения этилбензола в своем составе кроме блока алкилирования бензола имеют блок трансалкилирования ди- и полиалкилбензолов, образующихся в данном процессе. В самых ранних технологиях алкилирования/трансалкилирования в качестве катализаторов использовались сильные минеральные кислоты или кислоты Льюиса (например, HF , H_2SO_4 , AlCl_3). Эти кислоты токсичны, опасны в обращении и при транспортировке, вызывают коррозию аппаратуры и плохо регенерируются; протекание вторичных реакций снижает селективность основной реакции, а также требует затрат на очистку основных алкилбензолов и регенерацию вторичных продуктов; образуется большое количество сточных вод, в том числе и кислых, что требует затрат на их очистку.

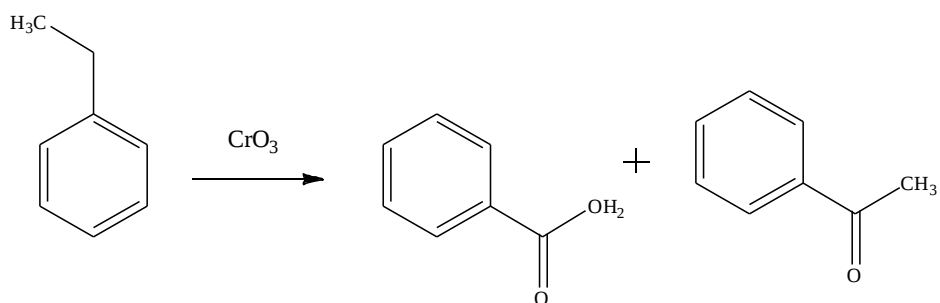
Перспективным решением существующих технологических проблем и имеющихся недостатков является переход процессов алкилирования/трансалкилирования ароматических углеводородов на гетерогенные с использованием цеолитсодержащих катализаторов. При использовании таких катализаторов упрощается технология процесса (отделение и регенерация катализатора); уменьшаются затраты на подготовку сырья, промывку реакци-

онной массы и нейтрализацию кислых сточных вод; уменьшается коррозия оборудования; упрощается организация непрерывных процессов [1].

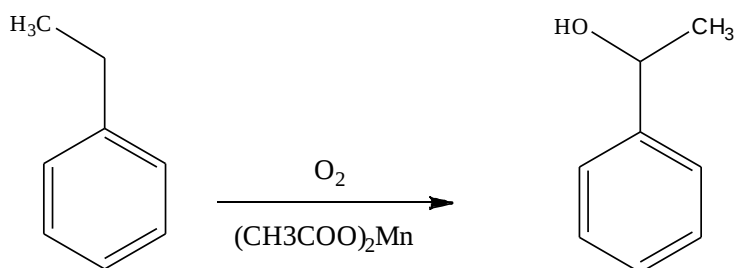
1 Области технического применения

Производство этилбензола является самым крупнотоннажным коммерческим процессом по объему потребления и переработки бензола — почти 75 % получаемого в мире нефтехимического бензола приходится на производство этилбензола и изопропилбензола. Высокие темпы роста производства этилбензола определяются, в первую очередь, возрастающей потребностью в продуктах, получаемых на его основе. Основная часть данного продукта используется для получения стирола, в дальнейшем перерабатываемого в полистирол, который нашел широкое применение в автомобилестроении, электро- и радиотехнике, строительной промышленности, при производстве бытовых товаров и упаковки, а также в процессе совместного получения пропиленоксида и стирола [2]. Остальная часть этилбензола используется [3, 4]:

- как неполярный растворитель, в том числе для красок
- для производства ацетофенона применяемого в парфюмерной промышленности, при действии оксидом хрома(VI)



- для синтеза α -фенилэтанола, применяемого в парфюмерной промышленности, при жидкофазном окислении кислородом в присутствии ацетата марганца



2 Источники сырья для производства этилбензола и требование к нему

2.1 Бензол

Бензол в основном получают каталитическим риформингом нефтяной фракции (470-550 °С). А так же выделяют из жидких продуктов пиролиза нефтепродуктов, образующихся при производстве этилена и пропилена. Данный способ является более выгодным, поскольку в образующейся смеси продуктов на долю бензола приходится около 40 % против 3 % при риформинге. Однако сырьевые ресурсы для этого способа весьма ограничены, поэтому большую часть бензола производят риформингом.

Основными производителями нефтяного бензола являются: ОАО «Нижнекамскнефтехим», ОАО «Сибнефть Омский НПЗ», ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», ОАО «Сибур Нефтехим», ОАО «Уфанефтехим», ОАО «Ангарская нефтехимическая компания», ОАО «Славнефть Ярославнефтеоргсинтез», ОАО «Рязанский НПЗ», ООО «ПО Кириши-нефтеоргсинтез», ООО «Ставролен» и ОАО «Урал-оргсинтез».

При сухой перегонке каменного угля на металлургических предприятиях получают кокс. Каменный уголь нагревают до 1200-1500 °С без доступа воздуха. Из 1 тонны угля получается примерно 680 кг кокса и 227 кг каменноугольного газа, каменноугольной смолы и каменноугольного масла. Каменноугольное масло или сырой бензол – это смесь бензола (63 %), толуола (14 %) и ксилолов (7 %).

Основными производителями каменноугольного бензола являются: ОАО «Алтай-кокс», ОАО «Северсталь», ОАО «Кокс», ОАО «Кузнецкий металлургический комбинат», ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат», ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», ОАО «Мечел» и ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Основная часть (около 70 %) идет на производство этилбензола.

2.2 Этилен

В структуре производства этилена 64 % приходится на крупнотоннажные установки пиролиза, ~17 % — на малотоннажные установки газового пиролиза, ~11 % составляет пиролиз бензина и 8 % падает на пиролиз этана.

В 2010 г. в России было получено 2382,8 тыс. тонн этилена. Весь этилен потребляется внутренним рынком (рис. 1). Ввиду отсутствия экспортно-импортных поставок данного продукта, емкость российского рынка этилена соответствует объему производства.

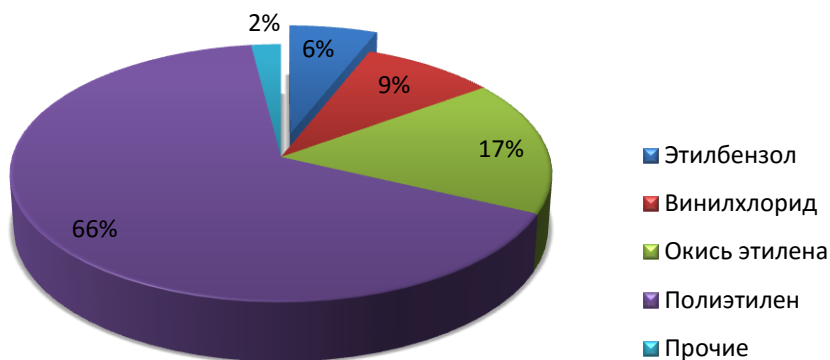


Рисунок 1 – Структура потребления этилена в России, 2010 г.[6]

Внутризаводское потребление этилена составляет 81 % от общего объема производства. Основными поставщиками этилена на внутренний рынок (рис. 2) являются «Газпромнефтехим Салават», «Нижнекамскнефтехим» и «Ангарский ЗП».

По этиленопроводу этилен получают: «Казаньоргсинтез», «Каустик», «Уфаоргсинтез» и «Саянскхимпром».

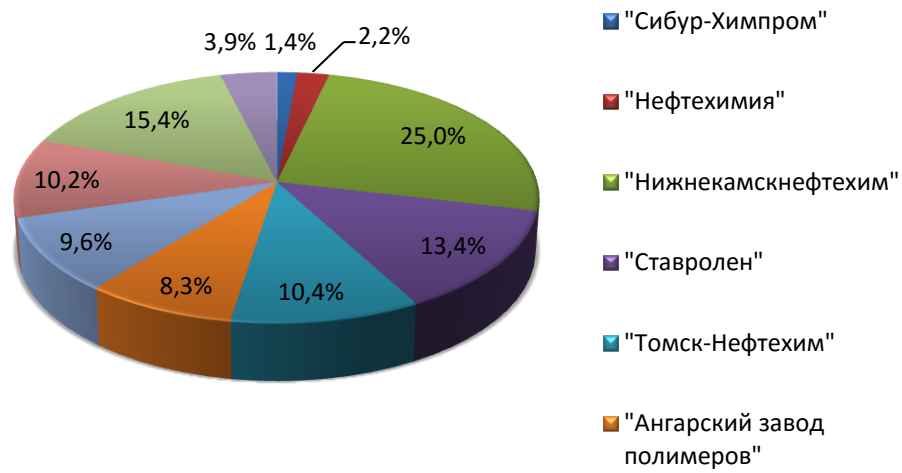


Рисунок 2 – Основные поставщики этилена в России [6].

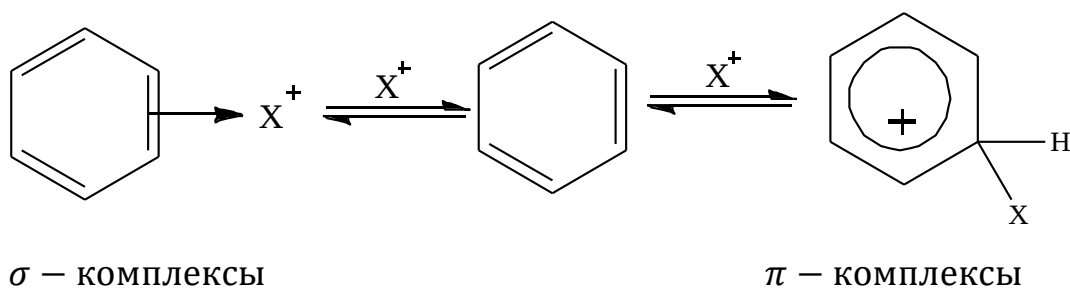
2.3 Характеристика сырья, материалов и реагентов.

Таблица 1 – Характеристика сырья, материалов и реагентов

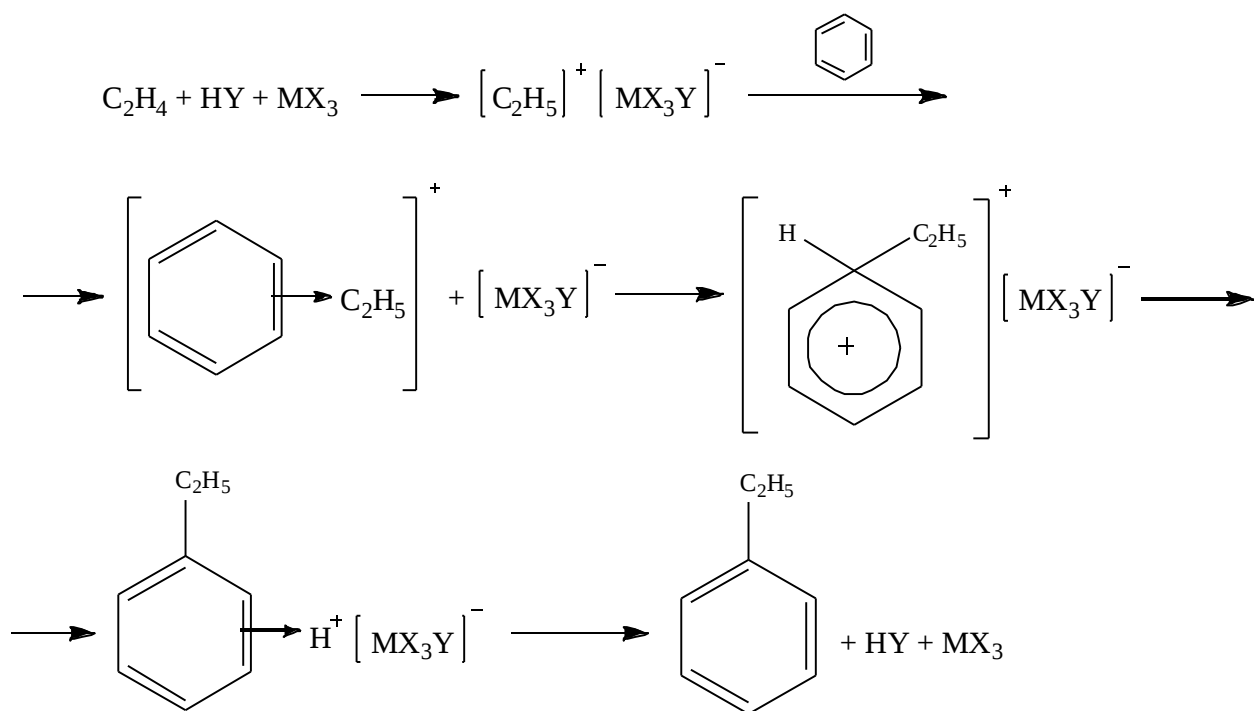
1. Этилен	ГОСТ 25070-87	Молекулярный вес – 28,052. $T_{\text{кип}} = (-103,71^{\circ}\text{C})$ $T_{\text{пл}} = (-169,15^{\circ}\text{C})$. Бесцветный горючий газ.	Состав, % масс.	
			CH_4 C_2H_4 C_2H_6 C_3H_6	0,037 99,9 0,06 0,003
2. Бензол нефтяной	ГОСТ 9572-93	Молекулярный вес – 78,11. $\rho = 0,878\text{-}0,880$ при 20°C $T_{\text{кр}} = 5,4^{\circ}\text{C}$. $T_{\text{кип}} = 80,1^{\circ}\text{C}$. Прозрачная жидкость, не содержащая посторонних примесей и воды	C_6H_6 $\text{C}_5\text{H}_9\text{CH}_3$ $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{CH}_3$ C_7H_8 н- C_7H_{14}	99,8 0,04 0,09 0,03 0,06
3. Катализатор ЕВЕМАХ-1	Импортный	1. Размер гранул, мм: диаметр 1,5; длина не более 5 2. Насыпная плотность, кг/л $0,6 \pm 0,05$ 3. Механическая прочность, кг/мм мин. 0,45 4. Площадь поверхности, $\text{м}^2/\text{ч}$ мин. 225		

3 Механизм основной реакции

В промышленности в качестве алкилирующих агентов при производстве этилбензола и изопропилбензола чаще всего используют олефины или их углеводородные фракции (в частности, этилен и пропилен). Если в качестве алкилирующего агента используют олефины, то в качестве катализаторов, как отмечалось выше, применяют протонные кислоты и кислоты Льюиса. Причем непредельные углеводороды (олефины) в этом случае можно рассматривать как основания Льюиса благодаря легкой поляризуемости электронов двойной связи и способности олефинов образовывать при взаимодействии с кислотами π - или σ -комплексы. Эти комплексы получаются при атаке двойной связи олефинов или ароматических соединений протонами или другими положительно заряженными частицами:



В общем виде образование промежуточных комплексов при алкировании бензола этиленом можно представить следующей схемой:



Реакция алкилирования бензола олефинами протекает по электрофильной схеме замещения с промежуточным образованием карбокатионов [7].

4 Выбор условий проведения процесса

4.1 Влияние времени контакта

Влияние времени контакта на конверсию бензола и селективность этилбензола была изучена на основе цеолитного катализатора VXE ALKCAT при различном соотношении сырья бензол:этилен равным – 1:1, 3:1, 6:1; и при разных температурах – 300°C, 350°C, 400°C, 450°C. Результаты представлены на рисунках 3, 4, 5, 6.

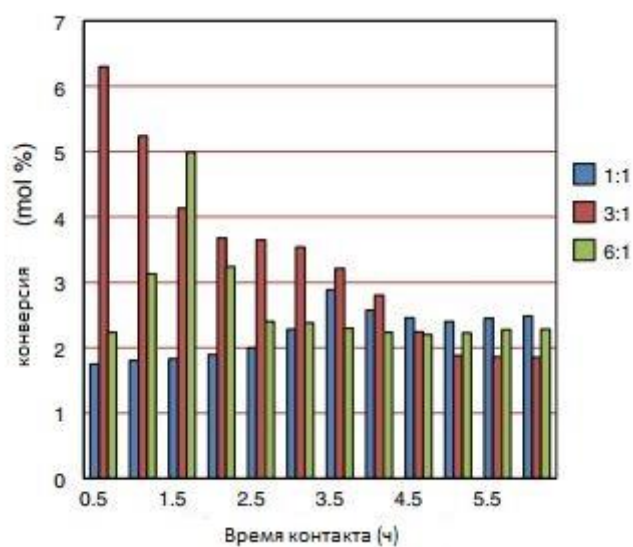


Рисунок 3 – Конверсия бензола от времени контакта при 300°C [8]

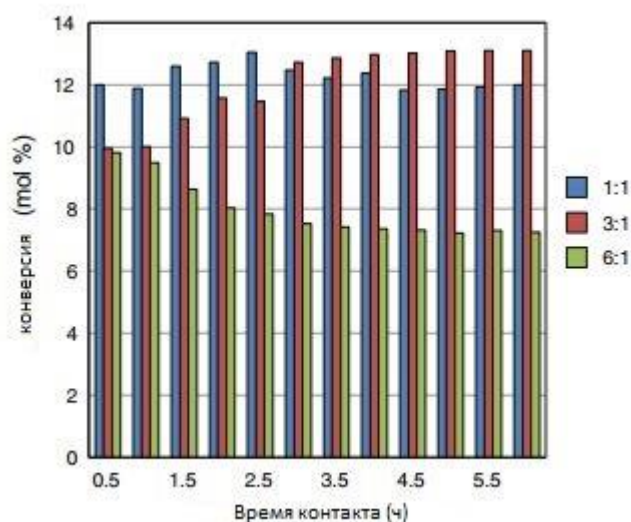


Рисунок 4 – Конверсия бензола от времени контакта при 350°C [8]

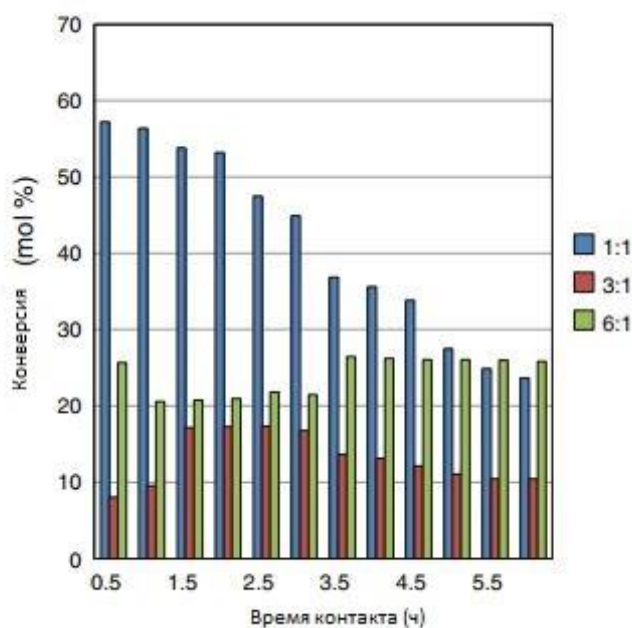


Рисунок 5 – Конверсия бензола от времени контакта при 400°C [8]

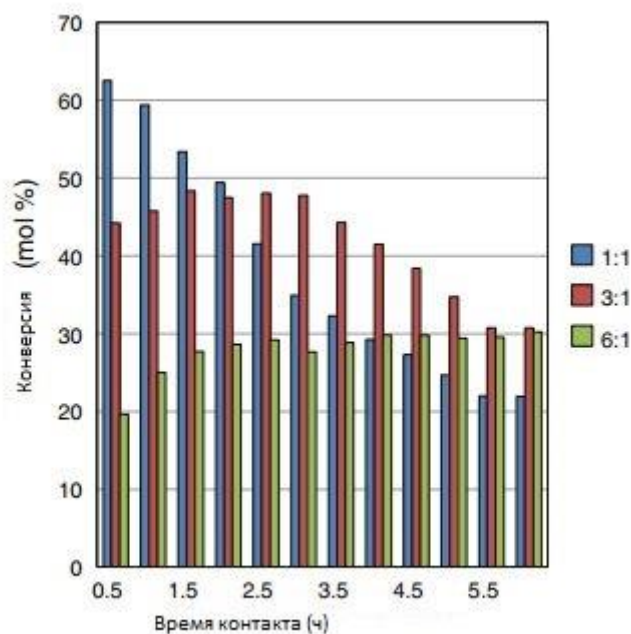


Рисунок 6 – Конверсия бензола от времени контакта при 450°C [8]

Из графиков видно, что выход этилбензола увеличивается при повышении температуры от 300 °C до 450 °C и при различном мольном соотношении бензола и этилена. С увеличением времени контакта выход этилбензола падает. Максимальный выход этилбензола (63 %) был получен при температуре 450 °C, мольном соотношении бензол:этилен равным 1:1, и при времени контакта равным 30 минут.

4.2 Влияние температуры реакции на выход и селективность целевого продукта

Основным продуктом реакции алкилирования при использовании цеолитного катализатора ВХЕ ALKCAT является этилбензол. Выход этилбензола увеличивается при повышении температуры от 300 до 450 °С с различными молярными соотношениями бензол:этилен (см. раздел 4.1). Максимальный выход был получен при соотношении бензол:этилен равным 1:1, время контакта 0,5 часов и температура 450 °С. Выход равен 50% (рисунок 7).

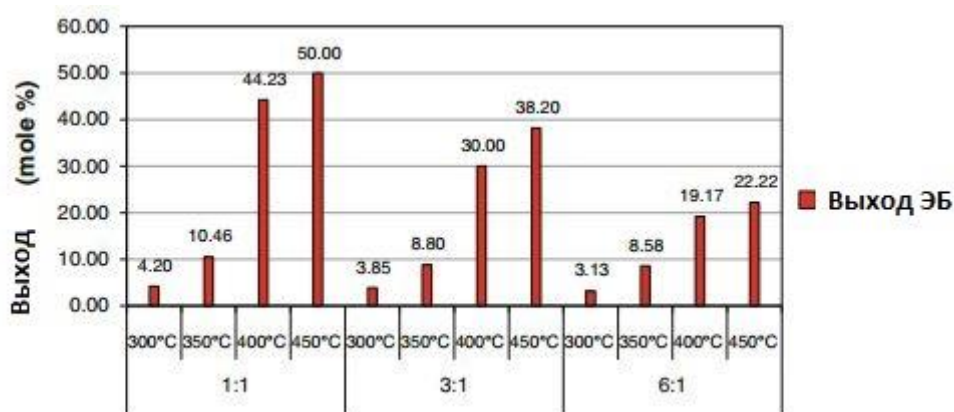


Рисунок 7 – Выход этилбензола при различной температуре и различном соотношении бензол:этилен [9]

Максимальный выход 17 % диэтилбензола (*o*-, *m*-, *n*-) был получен при 400 °С с молярным соотношением бензол:этилен – 1:1. Выход изомеров диэтилбензола возрастает при изменении температуры от 300 до 400 °С, а затем уменьшается с ростом температуры до 450 °С (рис. 8). Вероятно это связано с переалкилированием изомеров диэтилбензола с бензолом.

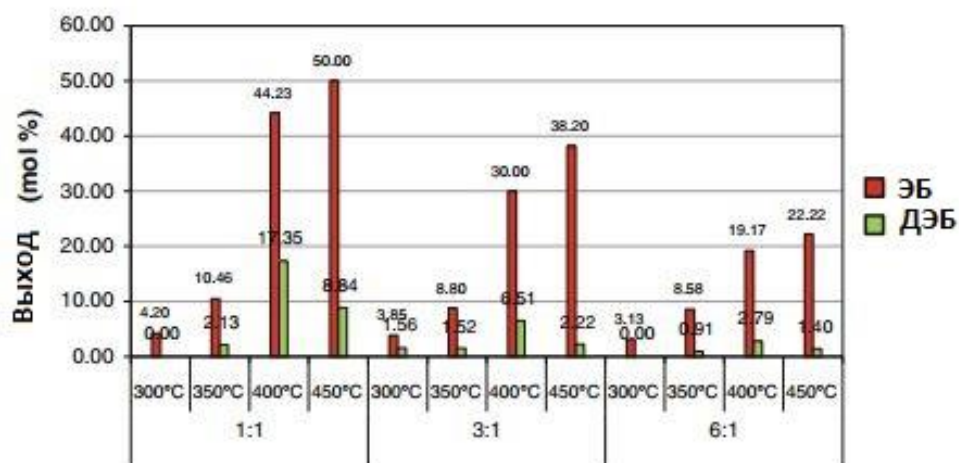


Рисунок 8 – Выход этилбензола и диэтилбензола при различной температуре и различном соотношении бензол:этилен [9]

Закключение: Оптимальные условия работы для цеолитного катализатора ВХЕ ALKCAT относительно высокая температура 350-400 °C, и большой избыток бензола, так как происходит трансалкилирование изомеров диэтилбензола с бензолом.

5 Выбор конструкции основного аппарата

Для алкилирования используется высокоуглеродистая сталь, так как она имеет устойчивость для химических веществ при производстве этилбензола. Процессы, протекающие с большими адиабатическими изменениями температуры смеси, проводятся в реакторах секционированного типа (полочных) (рис. 9). Охлаждение или нагревание реакционной смеси между полками проводится, как правило, непосредственным смешением реакционного газа с теплоносителем (хладагентом) или впрыскиванием испаряющейся жидкости.

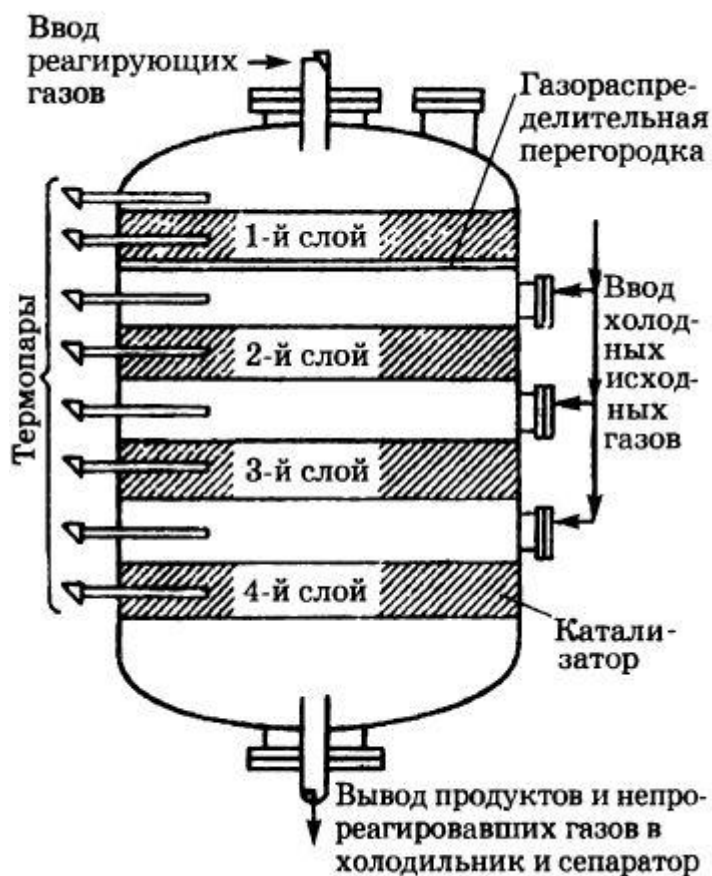


Рисунок 9 – Реактор полочного типа

6 Выбор и обоснование технологической схемы процесса

6.1 Технология жидкофазного алкилирования с использованием катализатора на основе $AlCl_3$

Технологическая схема рассматриваемой технологии представлена на рисунке 10. Исходный бензол осушают в двухколонном агрегате гетероазеотропной ректификации, который состоит из ректификационной колонны 1, отгонной колонны 3 и флорентийского сосуда 2. Часть обезвоженного бензола из колонны направляют в аппарат 4 для приготовления катализаторного раствора, а остальную часть в качестве реагента в реактор 5. В колонну 1 поступает как свежий, так и возвратный бензол. Верхние паровые потоки колонн 1 и 3 представляют гетероазеотропные смеси бензола и воды. После конденсации в конденсаторе и расслаивания во флорентийском сосудах 2 верхний слой - обводненный бензол, поступает в колонну 1, а нижний слой - вода, содержащая бензол, направляется в колонну 3 [11].

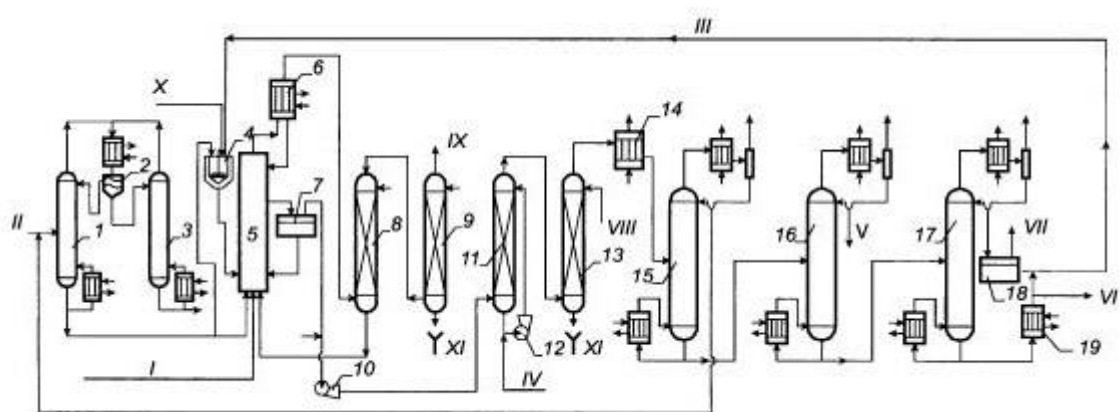


Рисунок 10 – Технологическая схема производства этилбензола с использованием катализатора на основе $AlCl_3$. 1,3,15-17 - ректификационные колонны; 2 - флорентийский сосуд; 4 – реактор приготовления катализатора; 5 - реактор алкилирования; 6 - конденсатор; 7 - сепаратор жидкость-жидкость; 8,9,11,13 - скрубберы; 10,12 - насосы; 14 - подогреватель; 18 - вакуум-приемник; 19 - холодильник полиалкилбензолов; I - этилен; II - бензол; III - диэтилбензолы; IV - раствор щелочи; V - этилбензол; VI - полиалкилбензолы; VII - К вакуумной линии; VIII - вода; IX - газы на факел; X - этилхлорид и хлорид алюминия; XI - сточные воды

Бензол, хлорид алюминия, этиленхлорид и полиалкилбензолы подают в аппарат с мешалкой 4, где приготавливается каталитический комплекс. Комплексы с мольным соотношением бензол:алкилбензолы (3-5) : 1, и мольным соотношением хлорид алюминия:ароматические углеводороды – 1: (2,5-3,0), полученные на шихте, обладают очень высокой активностью.

Колонный аппарат 5 служит реактором алкилирования, в котором теплота реакции отводится за счет подачи охлажденного сырья и испарения бензола. В нижнюю часть реактора 5 подается катализаторный раствор, осушенный бензол и этан-этиленовая фракция. Непрореагировавшая парогазовая смесь после барботажа выводится из колонны реактора и направляется в конденсатор 6, где происходит конденсация бензола, испарившегося в реакторе. Конденсат возвращается в реактор, а несконденсированные газы, содержащие значительное количество бензола, и хлороводорода отправляются в нижнюю часть скруббера 8, который орошается полиалкилбензолами для улавливания бензола. Раствор бензола в полиалкилбензолах направляется в реактор, а несконденсированные газы поступают в скруббер 9, который орошается водой для улавливания соляной кислоты. Водный раствор соляной кислоты направляется на нейтрализацию, а газы - на утилизацию тепла. Катализаторный раствор вместе с продуктами алкилирования поступает в отстойник 7, нижний слой которого возвращается в реактор, а верхний слой с помощью насоса 10 направляется в нижнюю часть скруббера 11. Скрубберы 11 и 13 предназначены для отмывки соляной кислоты и хлорида алюминия, который растворены в алкилате. Водный раствор щелочи направляется на нейтрализацию, а алкилат через подогреватель 14 – на ректификацию в колонну 15. В ректификационной колонне 15 в дистиллят выделяется гетероазеотроп бензола с водой. Бензол возвращают в колонну 1 для обезвоживания, а кубовый продукт – на дальнейшее разделение. Кубовый продукт колонны 15 направляется в ректификационную колонну 16 для выделения в качестве дистиллята продуктового этилбензола. Кубовый продукт колонны 16 направляется в ректификационную колонну 17, где происходит разделение

полиалкилбензолов на две фракции. Верхний продукт направляется в аппарат 4 и реактор 5, а нижний продукт (продукты осмоления) выводится из системы в качестве целевого продукта. Выход целевых продуктов составляет 94-95 % при расходе 5-10 кг AlCl_3 на 1 т моноалкилбензола. Главным недостатком этой технологии является отсутствие регенерации теплоты реакции, которая отводится водой в конденсаторе 6.

6.2 Жидкофазное алкилирование, по технологии фирмы «Monsanto»

Данная технология, позволяет ликвидировать недостатки рассмотренного выше процесса. В ней используется небольшое количество хлорида алюминия (примерно 2 г на 1 кг алкилата) без его регенерации. Давление при жидкофазном алкилировании зависит от температуры процесса, так как реакционная смесь должна находиться в жидком состоянии. Из-за малого количества катализатора, несмотря на высокую температуру (160-200 °C), низкая степень смолообразования. Это очень важно для создания безотходных производств. Недостатком является то, что не протекает переалкилирование полиалкилбензолов. Для этого предусмотрен второй (дополнительный) реактор. Если полиалкилбензолы используются как целевые продукты, то необходимость в этой стадии отпадает [10].

Так как подсистемы подготовки сырья и разделения алкилата в жидкофазном и парофазном процессах близки, мы рассмотрим только реакторный узел жидкофазного алкилирования.

Технологическая схема реакторного узла приведена на рисунке 11:

В алкилатор колонного типа I подают этилен, бензол и необходимое количество каталитического комплекса. Теплота реакции отводится кипящим водным конденсатом, который подают в трубы встроенного теплообменника. Генерируемый технологический пар может быть использован в этом же производстве, например при разделении алкилата. Полученный алкилат поступает в переалкилатор 2, куда подают полиалкилбензолы из подсистемы раз-

деления, при этом образуется дополнительное количество моноалкилбензола. Алкилат из аппарата 2 дросселируется до атмосферного давления. При этом испаряется основная часть непрореагировавшего бензола, который возвращается на алкилирование. Алкилат после нейтрализации направляют на разделение.

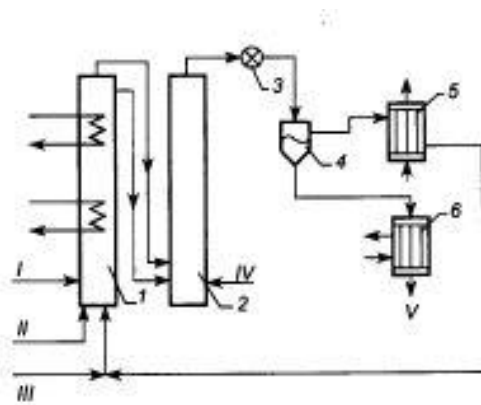


Рисунок 11 – Технологическая схема реакторного узла процесса жидкофазного алкилирования (фирма «Monsanto») 1-алкилатор; 2-переалкилатор; 3-дроссель; 4-сепаратор пар-жидкость; 5,6-холодильники; I-этилен; II-хлорид алюминия; III-бензол; IV-полиалкилбензолы; V-алкилат

Эксплуатация такого катализатора создает большое количество технологических, экологических и экономических проблем, связанных с высокой коррозионной активностью и сложностями при его утилизации, а также с недостаточно высокой селективностью процесса и большим количеством сточных вод.

6.3 Технология получения этилбензола на цеолитных катализаторах по методу фирмы «Mobil-Badger»

Принципиальная технологическая схема алкилирования по такому способу представлена на рисунке 12. Исходный бензол смешивают с возвратным и направляют на орошение в колонну 4. Пары колонны 4 поступают в конденсатор 11, из которого большая часть бензола направляется в теплообменник 10, где бензол нагревается за счет тепла продуктов алкилирования. Далее

бензол нагревается в печи 3 и поступает в реактор 1 или 2. Пары бензола предварительно смешиваются с этиленом (этиленовой фракцией), диэтилбензолом и другими алкилбензолами. Эта смесь подается в реактор 1 или 2 [11].

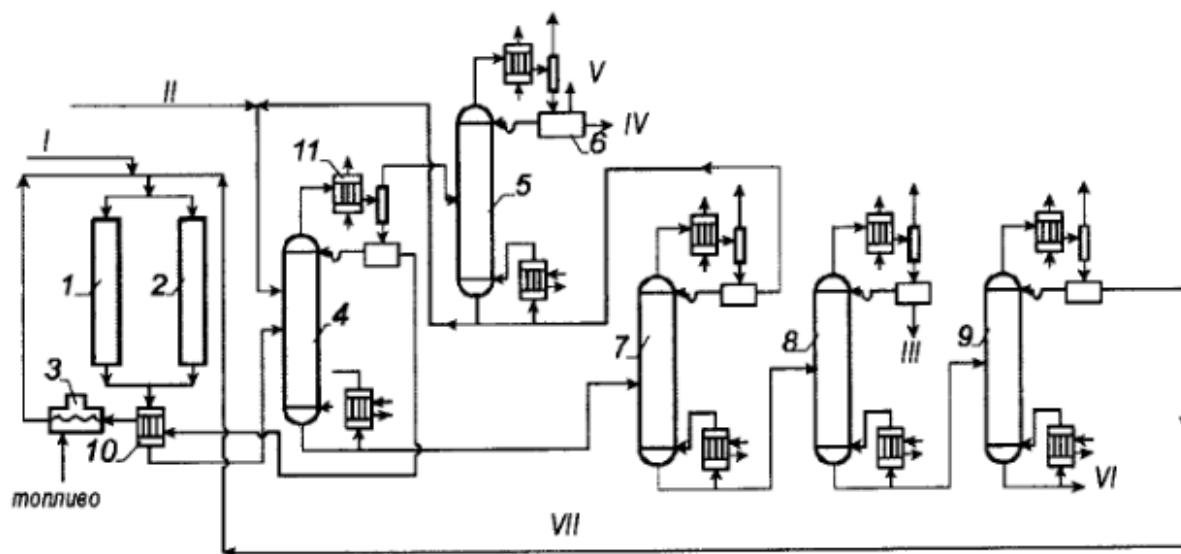


Рисунок 12 – Технологическая схема получения этилбензола на цеолитных катализаторах по методу фирмы «Mobil-Badger»: 1,2-реакторы; 3-печь перегревателя; 4,5,7,9-ректификационные колонны; 6-сепаратор; 10-теплообменник; 11-конденсатор; I-этан-этиленовая фракция; II-бензол; III-этилбензол; IV-водный слой на очистку; V-газы на очистку; VI-тяжелый остаток; VII-полиалкилбензолы

Реакторный узел состоит из двух реакторов. В одном из реакторов протекает алкилирование, а в другом проводится регенерация катализатора. Через определенное время происходит их переключение. Каждый из реакторов заполнен цеолитным катализатором. Газообразные продукты алкилирования на выходе из реактора 1 (или 2) охлаждаются конденсатом бензола и поступают на предварительное разделение в колонну 4. В этой колонне происходит отделение бензола и газов от алкилбензолов. При этом одновременно обезвоживаются алкилбензолы за счет отщепления воды в виде гетероазеотропа. Несконденсированные в холодильнике 11 продукты направляются в колонну 5 для отделения газов и обезвоживания бензола. Конденсат колонны поступает в сепаратор 6, в котором происходит отделение газов и разделение на водный и бензольный слои. Бензольный слой возвращается в колонну

5, а водный выводится из системы. Для очистки воды от растворенных углеводов необходимо установить дополнительную отгонную колонну, которой нет в схеме. Отходящие газы могут быть использованы как топливо. Этилбензол-сырец из куба колонны 4 направляется в ректификационную колонну 7 для отгонки бензола, который возвращается на алкилирование. В ректификационной колонне 8 выделяется целевой этилбензол в виде дистиллята. В ректификационной колонне 9 происходит отделение диэтилбензола и других алкилбензолов от смолы. Алкилбензолы возвращают в реактор для деалкилирования, а смолу используют в смежных отраслях промышленности.

Технология вобрала в себя все принципы, характерные для жидкофазного алкилирования, но кроме того обладает и рядом дополнительных черт, делающих ее особенно привлекательной. В гетерогенно-каталитическом алкилировании существенно выше степень использования тепла реакции. Это становится возможным, поскольку температура проведения процесса достигает 250 °С. Практически отсутствуют водные солевые, щелочные и кислотные стоки (реализован принцип минимального расходования воды и использования ее кругооборота), так как отсутствует необходимость очистки алкилата от каталитического комплекса. Наконец, использование паровых гетерогенно-каталитических процессов позволяет с большей легкостью нежели для жидкофазных создавать аппараты и технологические линии большой единичной мощности.

В целом следует отметить, что наиболее перспективным способом получения этилбензола является алкилирование бензола этиленом на цеолитсодержащих катализаторах. Преимущество данных катализаторов: высокая активность, большая производительность и насыпная плотность.

Таким образом, в данной выпускной работе будет спроектирован синтез узла получения этилбензола на цеолитсодержащих катализаторах.

10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Этилбензол широко используется в нефтехимической промышленности в качестве промежуточного продукта при получении стирола, сырья для производства полистирола, АБС-пластиков и синтетических каучуков. В настоящее время мощность мирового производства этилбензола достигает 45 млн тонн в год [15].

Получение этилбензола – сложный и многостадийный процесс, который состоит из ряда взаимосвязанных реакций: алкилирование, изомеризация, диспропорционирование, переалкилирование, полимеризация и др.

В промышленности органического синтеза существует несколько способов получения этилбензола с помощью различных катализаторов. К наиболее перспективным гетерогенным катализаторам алкилирования и трансалкилирования относятся алюмосиликатные и цеолитсодержащие катализаторы, которые и получили наибольшее практическое применение[16].

В соответствии с вышеизложенной информацией, проект нужен для того, чтобы систематизировать, закрепить и расширить теоретические и практические знания в области процессовакилирования ароматических углеводородов, а также разработать и описать высокоэффективный и безопасный узел жидкофазногоалкилирования бензола этиленом, отвечающий всем современным требованиям.

10.1 Предпроектный анализ

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга)[36].

10.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

По результатам проведенного сегментирования рынка были определены основные сегменты, а также выбраны наиболее благоприятные (рисунок 14).

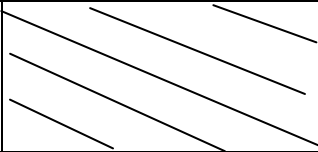
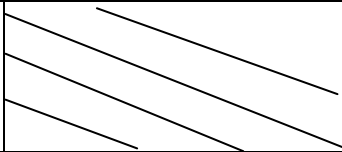
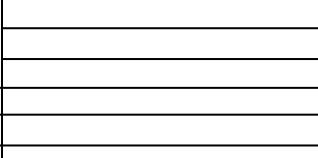
Профиль	Вид услуги		
	Проектирование оборудования	Рекомендации по реконструкции	Моделирование гидродинамики оборудования
Нефтехимический			
Фармацевтический			
Пищевое			

Рисунок 14 – Карта сегментирования рынка услуг по оптимизации гидродинамического режима оборудования химических производств:

 НИ ТПУ
  НИ МГУ
  СемТИПП

Таким образом, наиболее благоприятным сегментом и направлением для исследований является проектирование оборудования, а также моделирование гидродинамики оборудования нефтехимических производств.

10.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Таблица 14 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности	0,15	4	3	2	0,6	0,45	0,3
2. Удобство в эксплуатации	0,05	3	3	3	0,15	0,15	0,15
3. Энергоэкономичность	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
4. Надежность	0,08	5	3	3	0,4	0,24	0,24
5. Безопасность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
6. Простота эксплуатации	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,11	4	3	3	0,44	0,33	0,33
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	1	2	2	0,05	0,1	0,1
3. Цена	0,08	4	4	3	0,32	0,32	0,24
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
5. Финансирование научной разработки	0,08	3	5	4	0,24	0,4	0,32
6. Срок выхода на рынок	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
7. Наличие сертификации разработки	0,05	1	3	3	0,05	0,15	0,15
Итого	1				3,83	3,59	3,28

Где Б_{к1} -фирма «CDTECH », Б_{к2}- фирма «MonsantoCo»

Таким образом, самым оптимальным методом получения продуктов является процесс фирмы «Mobil-Badger», т. к. данный метод имеет много преимуществ.

10.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [17].

Таблица 15 – SWOT – анализ

	Сильные стороны: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Легкое обслуживание и надежная работа. С3. Низкие капиталовложения по сравнению с другими технологиями С4. Наличие бюджетного финансирования С5. Квалифицированные работники (аппаратчики 5го и 6го разрядов)	Слабые стороны: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Отсутствие подрядной компании, способной построить производство «под ключ» Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для построения лабораторной установки Сл4. Удаленность потенциальных потребителей Сл5. Большой срок поставок материалов и комплектующих.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Использование инфраструктуры ОЭЗ ТВТ Томск В3. Появление дополнительного спроса на продукты В4. Сотрудничество с ООО Томск-нефтехим. В5. Повышение стоимости конкурентных разработок	В6. Нарастание производственных мощностей В7. Расширение рынка для сбыта продукции В8. Разработка собственного отечественного катализатора для данной технологии	В9. Установка технологической линии по переработке нефти с целью получения высококачественного сырья для своей линии производства этилбензола.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Ограничения на экспорт технологии У4. Введение дополнительных требований к сертификации продукции	У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования У6. Зависимость от поставщиков сырья и импортных катализаторов У7. Замедление темпов экономического развития	У8. Увеличение налогового пресса У9. Государственные ограничения У10. Аварийные ситуации, как следствие застой производства

10.3 Планирование научно-исследовательских работ

10.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке [17]:

1. определение структуры работ в рамках научного исследования;
2. определение участников каждой работы;
3. установление продолжительности работ;
4. построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления работ и этапов, распределение исполнителей по данным видам работ приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	Бакалавр
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр
Теоретическое обоснование и проведение экспериментальных исследований	5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Руководитель, бакалавр
	6	Построение моделей и проведение экспериментов	Руководитель, бакалавр
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр

Продолжение таблицы 16

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Обобщение полученных результатов, выводы по проделанной работе	8	Оценка эффективности проведен. исследований	Руководитель, бакалавр
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, бакалавр
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка принципиальной схемы	Руководитель, бакалавр
	11	Расчет конструкции нового оборудования	Руководитель, бакалавр
	12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Руководитель, бакалавр
Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки	Руководитель, бакалавр
	14	Сдача работы на рецензию	Бакалавр
	15	Предзащита	Руководитель, бакалавр
	16	Подготовка к защите дипломной работы	Бакалавр

10.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула [17]:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

где $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой [17]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [17]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48,$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – число выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – число праздничных дней в году.

Рассчитанные значения T_{ki} в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу 17.

Таблица 17 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Наименование работ	Трудоемкость работ						Исполнители	
		t _{min} , чел-дни		t _{max} , чел-дни		t _{ожі} , чел-дни			
		Руково- дитель	Студент	Руково- дитель	Студент	Руково- дитель	Студент	Руково- дитель	Студент
1	Составление и утверждение технического задания	4	3	5	6	4,4	4,2	Р	Р
2	Выбор направления исследований	3 3	3 3	5 5	5 5	3,8 3,8	3,8 3,8	Р Б	Р Б
3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	2 2	2 2	7 7	6 6	3,4 3,4	3,6 3,6	Р Б	Р Б
4	Календарное планирование работ по теме	1 1	2 1	2 2	3 2	1,4 1,4	2,4 1,4	Р Б	Р Б
5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	20 10	25 10	45 20	45 20	30 14	33 14	Р Б	Р Б
6	Построение моделей и проведение экспериментов	14 14	14 14	30 30	30 30	20,4 20,4	20,4 20,4	Р Б	Р Б
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	5 5	5 5	7 7	7 7	5,8 5,8	5,8 5,8	Р Б	Р Б
8	Оценка эффективности проведенных исследований	1 1	1 1	3 3	3 3	1,4 1,4	1,4 1,4	Р Б	Р Б
9	Определение целесообразности проведения ОКР	3 3	3 3	7 7	7 7	4,6 4,6	4,6 4,6	Р Б	Р Б
10	Разработка принципиальной схемы	3 3	3 3	7 7	7 7	4,6 4,6	4,6 4,6	Р Б	Р Б
11	Расчет конструкции нового оборудования	5 5	5 5	14 14	14 14	8,6 8,6	8,6 8,6	Р Б	Р Б
12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	Р Б	Р Б
13	Составление пояснительной записки	7 7	7 7	8 8	9 9	7 7	7 7	Р Б	Р Б

Продолжение таблицы 17

№	Наименование работ	Трудоемкость работ						Исполнители	
		$t_{\min}$, чел-дни		$t_{\max}$, чел-дни		$t_{\text{ож}}$, чел-дни			
		Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент
14	Сдача работы на рецензию	2	2	6	7	3,6	4	Б	Б
15	Предзащита	1	1	2	2	1,4	1,4	Р	Р
		1	1	2	2	1,4	1,4	Б	Б
16	Подготовка к защите дипломной работы	5	5	6	6	5	5	Б	Б
17	Защита дипломной работы	1	1	1	1	1	1	Р	Р
		1	1	1	1	1	1	Б	Б

Р – руководитель; Б – бакалавр.

На основе таблицы 17 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 18 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 18– Расчет длительности исполнения работ

№	Наименование работ	Длительность работ в рабочих днях, T_{ri}		Длительность работ в календарных днях, T_{ki}		Исполнители	
		Руководитель	Студент	Руководитель	Студент		
1	Составление и утверждение технического задания	4,4	4,2	6,5	6,2	Р	Р
2	Выбор направления исследований	1,9	1,9	3	3	Р	Р
		1,9	1,9	3	3	Б	Б

Продолжение таблицы 18

№	Наименование работ	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работ в календарных днях, T_{ki}		Исполнители	
		Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент
3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	1,7 1,7	1,6 1,6	3 3	2,4 2,4	Р Б	Р Б
4	Календарное планирование работ по теме	0,7 0,7	1,2 0,7	1 1	1,8 1	Р Б	Р Б
5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	15 7	16,5 7	22,5 10,5	24,7 10,5	Р Б	Р Б
6	Построение моделей и проведение экспериментов	20,4 20,4	20,4 20,4	30,6 30,6	30,6 30,6	Р Б	Р Б
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	5,8 5,8	5,8 5,8	9 9	9 9	Р Б	Р Б
8	Оценка эффективности проведенных исследований	1,4 1,4	1,4 1,4	2 2	2 2	Р Б	Р Б
9	Определение целесообразности проведения ОКР	4,6 4,6	4,6 4,6	7 7	7 7	Р Б	Р Б
10	Разработка принципиальной схемы	4,6 4,6	4,6 4,6	7 7	7 7	Р Б	Р Б
11	Расчет конструкции нового оборудования	8,6 8,6	8,6 8,6	13 13	13 13	Р Б	Р Б
12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	1 1	1 1	1 1	1 1	Р Б	Р Б
13	Составление пояснительной записки	7 7	7 7	11 11	11 11	Р Б	Р Б
14	Сдача работы на рецензию	3,6	4	5,4	6	Б	Б

Окончание таблицы 18

№	Наименование работ	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работ в календарных днях, T_{ki}		Исполнители	
		Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент
15	Предзащита	0,7	0,7	1	1	Р	Р
		0,7	0,7	1	1	Б	Б
16	Подготовка к защите дипломной работы	5	5	7	7	Б	Б
17	Защита дипломной работы	1	1	1	1	Р	Р
		1	1	1	1	Б	Б

Таблица 19 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февраль		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	5													
2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр	3													
3	Обзор современных методов исследований по выбранному направлению	Руководитель, бакалавр	3													
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр	1													
5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Руководитель, бакалавр	21													
6	Построение моделей и проведение экспериментов	Руководитель, бакалавр	30													
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр	9													
8	Оценка эффективности проведенных исследований	Руководитель, бакалавр	2													

Продолжение таблицы 19

[illegible]

■ – руководитель ▨ – бакалавр

10.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

10.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле [17]:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расх\ i} ,$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх\ i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы. Примем $k_T = 0,2$.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 20.

Таблица 20 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., с НДС тыс.руб.			Затраты на материалы, (З _м), тыс.руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Бензол	м ³	50*	60	60	1	1	1	60	72	72
Этилен	м ³	500	600	600	0,4	0,4	0,5	240	288	360
Катализатор ЕВЕМАХ-1	м ³	440	550	550	0,6	0,6	0,6	317	396	396
Итого								617	756	828

10.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных исследований

Все расчеты по приобретению спецоборудования, включая 15% на затраты по доставке и монтажу, отображены в таблице 21.

Таблица 21– Расчет затрат по статье спецоборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1.	Персональный компьютер	1	30	30
2.	ПО Windows 10	1	15	15
3.	Лицензия AutoCAD	1	40	40
4.	Лицензия Chemcad	1	25	25
Итого:				110

Расчет затрат на электроэнергию определяется по формуле [17]:

$$E_{\text{э}} = \sum N_i \cdot T_{\text{э}} \cdot C_{\text{э}}$$

,где N_i – мощность электроприборов по паспорту, кВт;

$T_{\text{э}}$ – время использования электрооборудования, час;

$C_{\text{э}}$ – цена одного кВт*ч, руб. (2,93 руб. в городе Томске).

$$E_{\text{э}} = \sum N_i \cdot T_{\text{э}} \cdot C_{\text{э}} = 0,375 \cdot 1200 \cdot 2,93 = 1098 \text{ р.}$$

10.4.3 Расчет основной заработной платы

Численность исполнителей принимается как $N_{\text{рук}}=1$, $N_{\text{исп}}=2$, общее число исполнителей – 3 человек.

Эффективный фонд рабочего времени одного работающего рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{эф.раб}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{пот}}, \text{ дни}$$

где $T_{\text{эф.раб}}$ – эффективный фонд рабочего времени в году, дни;

$T_{\text{кал}}$ – количество дней на выполнение НИР; $T_{\text{пот}}$ – потери рабочего времени одного исполнителя при выполнении НИР, дни.

Расчет эффективного рабочего времени одного исполнителя сведен в таблицу 22.

Таблица 22 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	41	75
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	17	17
- праздничные дни	2	2
Номинальный фонд рабочего времени		
Потери рабочего времени		
- отпуск	-	-
- невыходы по болезни	-	-
Эффективный фонд рабочего времени	22	56

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 22);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}},$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 рабочих дня $М = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 рабочих дней $М = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}}$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 рабочих дня $М = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 рабочих дней $М = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

$$З_{\text{дн(рук)}} = \frac{43111,73 \cdot 1}{22} = 1960, \text{ руб}$$

$$З_{\text{дн(исп)}} = \frac{3510 \cdot 2}{56} = 125, \text{ руб}$$

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где $З_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска). $З_{\text{м(рук)}} = 33162,87$.

$$З_{\text{м(рук)}} = 33162,87 \cdot 1,3 = 43111,73, \text{ руб}$$

$$З_{м(исп)} = 2700 * 1,3 = 3510, \text{ руб}$$

Основная заработная плата руководителя(от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{раб},$$

$$З_{осн(рук)} = 1960 * 22 = 43340, \text{ руб}$$

$$З_{осн(исп)} = 125 * 56 = 7000, \text{ руб}$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

Таблица 23 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_б$, руб.	k_p	$З_м$, руб	$З_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель	33162,9	1,3	43111,7	1960	22	43340
Бакалавр	2700	1,3	3510	125	56	7000

Рассчитываем отчисления на социальные нужды (27,1%):

$$Q_{соц.н.} = 0,30 * ЗП, \text{ руб.}$$

Таблица 24 – Заработанная плата одного исполнителя НИР

	Заработная плата	Социальные отчисления
Руководитель	43340	11745
Исполнитель	7000	0
ИТОГО	50340	11745

10.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные

расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\sum_{\text{статей}} 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

10.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 25.

Таблица 25 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НТИ	617	756	828
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	110	110	110
3. Затраты на электроэнергию	1,098	1,098	1,098
4. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	50,340	50,340	50,340
5. Социальные отчисления	11,745	11,745	11,745
6. Накладные расходы	126,429	148,669	152,135
7. Бюджет затрат НТИ	916,612	1077,852	1153,318

10.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 26 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,1	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	5	3
3. Энергосбережение	0,15	5	4	4
4. Надежность	0,20	4	5	4
5. Воспроизводимость	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,15	5	4	4
ИТОГО	1	4,5	4,2	3,9

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

Таблица 27 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,98	0,96
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,2	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,13	4,45	4,06
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,97	0,91

Закключение: в ходе выполнения данного раздела были определены финансовый показатель разработки, показатель ресурсоэффективности, интегральный показатель эффективности и, на основании сравнительной эффективности вариантов исполнения, оптимальным был выбран вариант исполнения 1.